

Dariusz Musioł^{a)*}

^{a)} Silesian University of Technology / Politechnika Śląska

* Corresponding author / Autor korespondencyjny: dariusz.musiol@polsl.pl

Assessment of the Costs of Preventive Works Concerning Fire Hazard on the Example of Selected Longwalls of Two Mining Companies

Ocena kosztów prac profilaktycznych w zakresie zagrożenia pożarowego na przykładzie wybranych ścian eksploatacyjnych dwóch spółek węglowych

ABSTRACT

Aim: The article aims to present and evaluate the costs of preventive works carried out in 16 selected longwall panels in the mines of two coal mining companies. The article is based on the analysis of data made available by the companies, which the author has properly prepared to enable their comparison.

Introduction: Fires occurring in coal mines are one of the more frequent technical hazards. Consequently, the mine's ventilation departments are responsible for carrying out preventive measures to limit and minimise the fire risk. The danger of a fire in mine workings is connected not only with the possibility of exogenic fire, which is influenced by external factors such as machine and equipment failures, short-circuits in electrical installations or the possibility of a fire on transport routes, but also with endogenic fire, which the low-temperature oxidation of coal may cause with the remains left in longwall caving. The costs of prevention depend on the method of ventilation of the longwall faces and the coal's susceptibility to spontaneous combustion.

Methodology: The costs of coal mining are very high. They are related to the increasingly difficult mining conditions, which are influenced mainly by the increasing depth of exploitation and the increase in natural and technical hazards during mining work. The costs of mining within a longwall area are usually divided into the costs of starting up the longwall, its exploitation and liquidation. Within this division, more detailed cost analyses are rarely conducted. As part of the research conducted since 2015, ways of cost assessment were developed on the basis of appropriately prepared cost tables for various natural and technical hazards occurring within the ventilation hazards presented in the example discussed in the article. Based on the analyses of unit costs of fire hazard prevention elements obtained in coal companies and the developed cost tables, the costs of prevention works were compiled. The costs of prevention works were evaluated and compared for 16 longwall faces using the elaborated indices.

Conclusions: Correctly applied fire hazard prevention in hard coal mines is one of the main elements of maintaining functional safety. Costs of hazard prevention in mines were usually compared together with the costs of exploitation, longwall equipment, media and crew working days. Cost tables were developed as part of the research to allow for cost assessment and determination of fire prevention cost indices.

Keywords: coal mining, fire hazard, preventive work, cost of preventive work

Type of article: review article

Received: 20.03.2022; Reviewed: 04.04.2022; Accepted: 04.04.2022;

Author's ORCID ID: D. Musioł – 0000-0001-7703-168X;

Please cite as: SFT Vol. 59 Issue 1, 2022, pp. 182–197, <https://doi.org/10.12845/sft.59.1.2022.11>;

This is an open access article under the CC BY-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest przedstawienie i ocena kosztów prac prewencyjnych prowadzonych w 16 wybranych ścianach eksploatacyjnych w kopalniach dwóch spółek węglowych. Artykuł opiera się na analizie udostępnionych przez spółki danych, które zostały odpowiednio przygotowane przez autora w celu możliwości ich porównania.

Wprowadzenie: Pożary występujące w kopalniach węgla kamiennego są jednymi z częściej pojawiających się zagrożeń technicznych. W związku z tym niezbędne jest prowadzenie profilaktyki ograniczającej ryzyko powstania pożarów przez działy wentylacji w kopalniach. Niebezpieczeństwo powstania pożaru w wyrobiskach górniczych dotyczy nie tylko możliwości powstania pożaru egzogenicznego, na który wpływ mają czynniki zewnętrzne związane z awariami maszyn i urządzeń, zwarciami w instalacjach elektrycznych czy możliwością powstania pożaru na drogach transportu, ale także pożaru endogenicznego, który może powstać na skutek niskotemperaturowego utleniania się węgla pozostawionego w zrobach zawałowych ścian eksploatacyjnych. Koszty prowadzonej profilaktyki są zależne od sposobu przewietrzania rejonów ścian oraz skłonności węgla do samozapalenia.

Metodologia: Eksploatacja węgla kamiennego jest bardzo kosztowna ze względu na coraz trudniejsze warunki górnicze. Koszty prowadzonej eksploatacji w ramach rejonu ściany podzielone są najczęściej na koszty rozruchu ściany, jej eksploatacji i likwidacji. W tym zakresie rzadko prowadzi się bardziej szczegółowe analizy kosztów. W ramach badań prowadzonych od 2015 r. wypracowano sposoby oceny kosztów na podstawie odpowiednio przygoto-

wanych tablic kosztowych. Bazując na analizach jednostkowych kosztów profilaktyki przeciwpożarowej, pozyskanych w dwóch spółkach węglowych oraz opracowanych tabel kosztowych, wykonano zestawienie kosztów tych działań. Wykorzystując opracowane wskaźniki kosztów, dokonano oceny i porównania kosztów prac profilaktycznych w 16 ścianach eksploatacyjnych.

Wnioski: Właściwie stosowana profilaktyka zagrożenia pożarowego w kopalniach węgla kamiennego jest jednym z głównych elementów utrzymania bezpieczeństwa funkcjonalnego kopalni. Koszty prowadzonych działań profilaktycznych w obszarze zagrożeń występujących w kopalniach były najczęściej zestawiane wspólnie z kosztami prowadzenia eksploatacji, usprzętowania ścian oraz mediów i roboczości załogi.

Słowa kluczowe: górnictwo węgla kamiennego, zagrożenie pożarowe, prace profilaktyczne, koszty prac profilaktycznych

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 20.03.2022; **Zrecenzowany:** 04.04.2022; **Zaakceptowany:** 04.04.2022;

Identyfikator ORCID autora: D. Musioł – 0000-0001-7703-168X;

Proszę cytować: SFT Vol. 59 Issue 1, 2022, pp. 182–197, <https://doi.org/10.12845/sft.59.1.2022.11>;

Artykuł udostępniany na licencji CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

Introduction

Hard coal mining is still one of the main elements of the Polish critical infrastructure related to the production of electricity. Thermal coal supplied to conventional power plants is currently exploited by two coal companies, Polska Grupa Górnicza S.A. (PGG S.A.), which comprises of 7 mines and Jastrzębska Spółka Węglowa S.A. (JSW S.A.), which manages 5 mines. The mines affiliated with PGG S.A. produce exclusively steam coal for the purposes of electricity production and fuel coal for individual consumers, while JSW S.A. produces mainly coking coal, necessary for steel production, which is sold to the EU countries. A portion of the production is also thermal coal, sold in Poland for power and heating purposes.

During the exploitation of hard coal seams in underground excavations there are several threats that limit or impede its exploitation. Generally, the hazards occurring in mines can be divided into two groups: technical hazards connected with technical aspects of conducting mining work and natural threats, which are caused by nature. According to the Polish mining regulations, these hazards include: rock bounce hazard, methane hazard, gas and rock outburst hazard, coal dust explosion hazard, climatic hazard, water hazard and radioactive substance hazard. One of the main hazards is the risk of a fire, which is present in every hard coal mine due to the combustible nature of the raw material used, which is coal.

Fires occurring in mine workings can be divided into technical fires, which are called exogenic fires due to the external nature of the applied source causing ignition, and endogenic fires, associated with the natural low-temperature oxidation of coal and the possibility of its self-ignition during the accumulation of thermal energy in the place of self-ignition.

Both exogenous and endogenous fires have occurred in coal mining in the last five years, and their number is shown in Table 1.

Wprowadzenie

Górnictwo węgla kamiennego jest nadal jednym z głównych elementów polskiej infrastruktury krytycznej, związanej z produkcją energii elektrycznej. Węgiel energetyczny dostarczany do elektrowni konwencjonalnych eksploatowany jest obecnie w dwóch spółkach węglowych – Polskiej Grupie Górniczej S.A., w której skład wchodzi 7 kopalń oraz Jastrzębskiej Spółce Węglowej S.A., która zarządza 5 kopalniami. Kopalnie zrzeszone w Spółce PGG S.A. produkują wyłącznie węgiel energetyczny na potrzeby produkcji energii elektrycznej oraz węgiel opałowy dla odbiorców indywidualnych, zaś spółka JSW S.A. dostarcza w głównej mierze węgiel koksowy, niezbędny do produkcji stali, którego odbiorcą są państwa UE. Część produkcji stanowi także węgiel energetyczny, sprzedany w Polsce na potrzeby energetyczne i opałowe.

W czasie eksploatacji pokładów węgla kamiennego w wyrobiskach podziemnych występuje szereg zagrożeń ograniczających lub utrudniających jego eksploatację. Ogólnie zagrożenia występujące w kopalniach można podzielić na dwie grupy: zagrożenia techniczne związane z technicznymi aspektami prowadzenia robót górniczych oraz zagrożenia naturalne, które wywołane są przez naturę. Do tych zagrożeń wg przepisów górniczych należy zaliczyć: zagrożenie: tąpniętami, metanowe, wyrzutami gazów i skał, wybuchem pyłu węglowego, klimatyczne, wodne oraz substancjami promieniotwórczymi. Jednym z głównych zagrożeń jest zagrożenie pożarowe, które występuje w każdej kopalni węgla kamiennego ze względu na palny charakter eksploatowanego surowca.

Pożary występujące w wyrobiskach górniczych można podzielić na pożary techniczne, które nazywa się pożarami egzogenicznymi ze względu na zewnętrzny charakter przyłożonego źródła powodującego zapłon oraz pożary endogeniczne, związane z naturalnym niskotemperaturowym utlenianiem się węgla i możliwością jego samozapłonu w czasie akumulacji energii cieplnej w miejscu samozagrzewania.

W ostatnich pięciu latach w kopalniach wystąpiły zarówno pożary egzogeniczne, jak i endogeniczne, a ich liczba została przedstawiona w tabeli 1.

Table 1. Number of fires in Polish coal mining sector from 2017–2021
Tabela 1. Liczba pożarów w kopalniach węgla kamiennego w latach 2017–2021

Type of fire / Typ pożaru	Years / Lata					Total / Razem
	2017	2018	2019	2020	2021	
Exogenic / Egzogeniczny	2	5	5	7	1	20
Endogenic / Endogeniczny	8	8	11	2	2	31
Total / Razem	10	13	16	9	3	51

Source: Statistics from the State Mining Authority in Katowice [1].
Źródło: Dane statystyczne Wyższego Urzędu Górniczego w Katowicach [1].

Coal mines, while exploiting hard coal and coking coal seams, must apply ongoing preventive measures aimed at reducing fire hazard in coincidence with other hazards. Unfortunately, this kind of activities is often opposite to fire prevention.

The requirement to conduct constant prevention to reduce the hazards occurring during the exploitation of coal beds has an indirect impact on the price of the raw material itself.

According to §504 of the regulation on detailed requirements for running underground mining plants “underground fire shall be understood as the occurrence in the underground workings of an open fire, glowing or burning substance with an open flame, as well as the ascertainment in the mine air of fumes or a quantity of carbon monoxide in the district air current greater than 25 dm³/min. It does not report and does not register as an underground fire the persistence in mine air of fumes, carbon monoxide in amounts greater than 25 dm³/min, resulting from:

- the use of permissible technological processes, in particular blasting work, welding work, the operation of combustion-powered machinery, or
- the release of carbon monoxide due to mining operations”.

Due to the nature of exogenous fire development in hard coal mines, there are many combustible materials that can ignite and cause a fire due to improper handling.

These materials include, among others: coal, wood, electric cables, conveyor belts, lubricants, oils, plastic braziers, flammable and explosive gases, coal dust as well as paper, rags and all kinds of production waste such as containers for used chemicals.

Due to the ban on the use of open fire imposed at the end of the 1950s, the number of exogenic fires occurring is low. Currently used dispatching systems, equipped with automatic CO sensors, responsible, among other things, for continuous monitoring of the fire hazard, alert on any exceedance of the carbon monoxide PDS in mine workings [2] and notify the mine rescue services to assess the hazard and fight it. Since 2009, when continuous automatic CO-metering was introduced, all exogenous fires were detected within a short time and nipped in the bud.

Another group of underground fires are endogenous fires [3]. Three elements are necessary for developing this type of fire:

Kopalnie, prowadząc eksploatację pokładów węgla kamiennego i koksowego, muszą na bieżąco stosować profilaktykę ukierunkowaną na ograniczenie zagrożenia pożarowego w koincydencji z innymi zagrożeniami. Niestety takie działanie jest często przeciwstawne do profilaktyki ppoż.

Wymuszenie prowadzenia stałej profilaktyki ograniczającej zagrożenia występujące w czasie eksploatacji pokładów węgla wpływa pośrednio na kształtowanie się ceny surowca.

Zgodnie z §504 rozporządzenia w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych [2] „przez pożar podziemny rozumie się wystąpienie w wyrobisku podziemnym otwartego ognia, żarzącej lub palącej się płomieniem otwartym substancji, a także stwierdzenie w powietrzu kopalnianym dymów lub ilości tlenu węgla w rejonowym prądzie powietrza większej niż 25 dm³/min. Nie zgłasza się i nie rejestruje jako pożar podziemny utrzymywania się w powietrzu kopalnianym dymów, tlenu węgla w ilości większej niż 25 dm³/min, powstałych w wyniku:

- stosowania dopuszczalnych procesów technologicznych, w szczególności robót strażalowych, prac spawalniczych, pracy maszyn z napędem spalinowym, lub
- wydzielania się tlenu węgla wskutek urabiania”.

Ze względu na istotę rozwoju pożaru egzogenicznego w kopalniach węgla kamiennego występuje bardzo wiele materiałów palnych. Jednak w związku z niewłaściwym obchodzeniem się z nimi mogą ulec one zapaleniu i wywołać pożar.

Do tych materiałów możemy zaliczyć między innymi: węgiel, drewno, kable elektryczne, taśmy przenośnikowe, smary, oleje, lutnie z tworzyw sztucznych, gazy palne i wybuchowe, pył węglowy oraz papier, szmaty i wszelkiego rodzaju odpady produkcyjne np. pojemniki po zużytych środkach chemicznych.

W związku z wprowadzonym pod koniec lat 50-tych poprzedniego wieku zakazem stosowania otwartego ognia liczba występujących pożarów egzogenicznych jest niewielka. Obecnie stosowane systemy dyspozytorskie, wyposażone w automatyczne czujniki CO, odpowiedzialne między innymi za ciągły monitoring zagrożenia pożarowego, alarmują o każdym przekroczeniu NDS tlenu węgla w wyrobiskach górniczych [2] i powiadamiają służby ratownictwa górniczego kopalni w celu oceny zagrożenia i jego

- the presence of crushed coal prone to low-temperature oxidation,
- inflow of air to the place of coal accumulation,
- possibility of accumulation of heat energy released during the coal oxidation reaction [4].

In case of endogenous fire hazard, the exploited coal seams have been divided into 5 groups of the spontaneous combustion liability of coal. According to the PN-93/G-04558 standard [5–6], one differentiates between coals of very low, low, medium, high and very high liability to spontaneous combustion. Depending on the spontaneous combustibility group, mines select appropriate fire prevention measures already at the level of creating a technical design of the longwall panel.

Although endogenous fires do not pose a direct threat to the crew working in the excavations due to the fact that they develop over a long period of time, ranging from several days to even several weeks, their development may result in the necessity to temporarily close off the exploited longwall panel and apply extensive fire prevention measures in order to restore the longwall for further exploitation. Preventive works connected with firefighting can be divided into active and passive.

Active firefighting measures are taken, similar to those used for typical fires on the surface, using firefighting equipment such as fire pipes, fire extinguishers, hydrants, bulk materials, fire blankets and equipment for administering extinguishing media. An extension of fire prevention is preventive work, which is carried out only in mine workings to prevent the spread of fire. As part of this prevention measures, building materials are used which make it possible to build isolation dams in order to enclose the fire-prone area of the workings.

If all active forms of prevention make it impossible to extinguish the fire, passive preventive measures are taken. The main element of such works is surrounding the fire area with explosion-proof isolation dams in order to cut off the inflow of air with oxygen to the fire area. Subsequently, work is carried out to equalise the pressure (aerodynamic potential) around the fire area in order to reduce the migration of air through the fire area. The aim is to reduce the supply of oxygen to the fire focus and self-extinguish. Passive prevention work can take several months.

In the context of endogenous fires, which most often occur in the coal seam or in cave-ins, i.e. areas after the coal seam has been removed, active prevention is used. Because of the difficult direct access to places where endogenous fires may occur, directional drilling is used to inject water or mixtures of water and power plant waste.

For endogenous fires, the main prevention focuses on two aspects:

- constant monitoring of the fire risk through gas sampling for the so-called “early detection of endogenous fires”,
- the application of prevention methods based on restricting the flow of air with oxygen to areas where there are remnants of crushed coal.

The early detection of underground fires is based on three basic indices; the CO quantity index (V_{CO}), the CO rise index (ΔCO) and the Graham index (G) [2]. The first two indices make it possible to assess the hazard at measuring stations located at the inlet

zwalczania. Od 2009 roku, kiedy to wprowadzono stałą, automatyczną CO-metrię wszystkie pożary egzogeniczne były wykryte w krótkim okresie czasu i zlikwidowane w zarodku.

Inną grupę pożarów podziemnych stanowią pożary endogeniczne [3]. Do rozwoju tego typu pożaru niezbędne są trzy elementy:

- obecność rozdrobnionego węgla skłonnego do niskotemperaturowego utleniania,
- dopływ powietrza do miejsca nagromadzenia węgla,
- możliwość akumulacji energii cieplnej wydzielającej się w czasie reakcji utleniania węgla [4].

Biorąc pod uwagę skłonność do samozapalenia i wystąpienie pożaru endogenicznego, eksploatowane pokłady węgla zostały podzielone na pięć grup samozapalności. Zgodnie z normą PN-93/G-04558 [5–6] rozróżnia się węgle o bardzo małej, małej, średniej, dużej i bardzo dużej skłonności do samozapalenia. W zależności od grupy samozapalności kopalnie dobierają odpowiednią profilaktykę przeciwpożarową już na poziomie tworzenia projektu technicznego ściany eksploatacyjnej.

Ze względu na długotrwały okres rozwoju pożaru endogenicznego, trwający od kilku dni do nawet kilku tygodni, nie są one bezpośrednim zagrożeniem dla pracującej w wyrobiskach załogi, ale w konsekwencji ich rozwoju może dojść do konieczności czasowego otamowania rejonu ściany eksploatacyjnej i stosowania szeroko zakrojonej profilaktyki ppoż. w celu przywrócenia ściany do dalszej eksploatacji. Prace profilaktyczne związane ze zwalczaniem pożarów można podzielić na aktywne i pasywne.

W ramach aktywnego zwalczania zagrożenia pożarowego stosuje się podobną profilaktykę co przy typowych pożarach na powierzchni, wykorzystując sprzęt gaśniczy w postaci rurociągów ppoż., gaśnic, hydrantów, materiałów sypkich, koców gaśniczych oraz sprzętu do podawania mediów gaśniczych. Rozszerzeniem profilaktyki ppoż. są prace profilaktyczne, które wykonuje się tylko w wyrobiskach górniczych w celu uniemożliwienia rozprzestrzeniania się pożaru. W ramach tej profilaktyki stosuje się materiały budowlane, umożliwiające postawienie tam izolacyjnych w miejscu wystąpienia pożaru.

W przypadku gdy wszelkie aktywne formy profilaktyki uniemożliwiają ugaszenie pożaru, przystępuje się do prac profilaktycznych pasywnych. Głównym ich elementem jest otamowanie rejonu wyrobisk za pomocą tam izolacyjnych przeciwwybuchowych w celu odcięcia dopływu powietrza z tlenem do ogniska pożarowego. W dalszej kolejności prowadzi się prace związane z wyrównaniem ciśnień (potencjału aerodynamicznego) wokół pola pożarowego w celu ograniczenia migracji powietrza przez rejon, w którym wystąpił pożar. Ma to na celu ograniczenie dopływu tlenu do ogniska pożaru i samougaszenie. Prace profilaktyczne pasywne mogą trwać nawet kilka miesięcy.

W ramach pożarów endogenicznych, które najczęściej występują w caliznie węglowej lub zrobach zawałowych (czyli miejscach po wybraniu pokładu węgla) stosuje się profilaktykę aktywną. Bezpośredni dostęp do miejsc, w których może dojść do powstania pożaru endogenicznego jest utrudniony, dlatego stosuje się wiercenia kierunkowe w celu podawania wody lub mieszanin wody z odpadami pochodzącymi z elektrowni.

and outlet to/from the excavations in the longwall region, while the Graham index makes it possible to assess the fire hazard in the caving left after the exploited hard coal seam (see Figure 1).

W przypadku pożarów endogenicznych główna profilaktyka skupia się na dwóch aspektach:

- stałym monitorowaniu zagrożenia pożarowego poprzez pobieranie prób gazowych do tzw. wczesnego wykrywania pożarów endogenicznych,
- stosowania metod profilaktyki opartych na ograniczeniu dopływu powietrza z tlenem do miejsc, w których występują resztki rozkruszonego węgla.

Wczesne wykrywanie pożarów podziemnych oparte jest na trzech podstawowych wskaźnikach: ilości CO (V_{CO}), przyrostu CO (ΔCO) oraz Grahama (G) [2]. Dwa pierwsze wskaźniki umożliwiają ocenę zagrożenia na stacjach pomiarowych zlokalizowanych na wlocie i wylocie do/z wyrobisk rejonu ściany, zaś za pomocą wskaźnika Grahama ocenia się zagrożenie pożarowe w zrobach zawałowych pozostałych po wyeksploatowanym pokładzie węgla kamiennego (zob. ryc. 1).

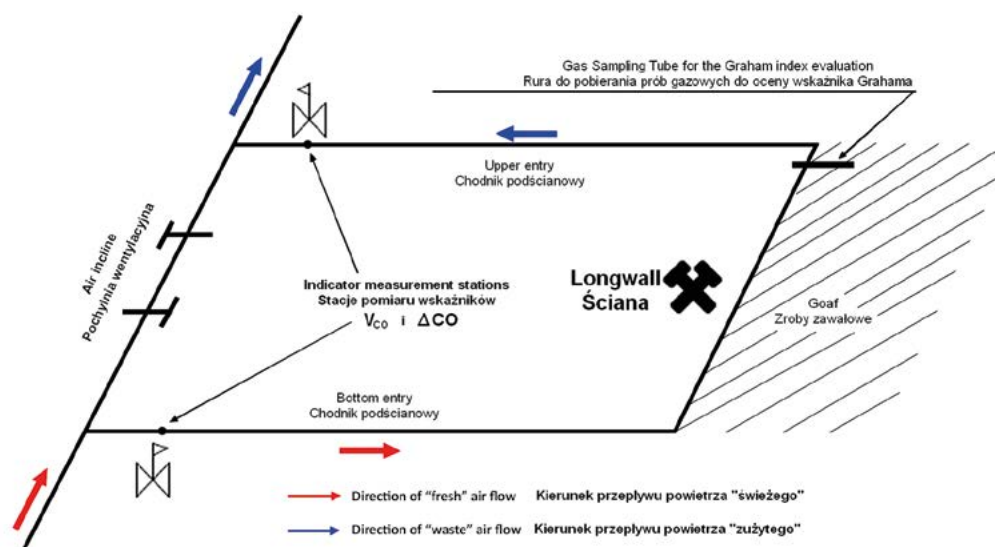


Figure 1. Diagram of the arrangement of measuring stations for the measurements of fire hazard in the area of the longwall
Rycina 1. Schemat rozmieszczenia stacji pomiarowych do pomiarów zagrożenia pożarowego w rejonie ściany eksploatacyjnej

Source: Own elaboration based on [7].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [7].

One of the main ways of limiting the start and development of endogenous fires is the use of inert gases (nitrogen, carbon dioxide), with nitrogen being the most commonly used because of the lower risk of an anaerobic atmosphere developing in mine workings in the event of it leaking into the workings. Inert gases are fed to the goafs of longwalls using means of pipelines built into the mine workings. The place where the gas is fed into the pipeline is located on the surface. Gas is obtained by using two methods: the gasification method using liquid nitrogen or carbon dioxide, or the method for extracting nitrogen from atmospheric air [8]. The gas yield using both methods is approximately 700 Nm³/h.

Prevention works related to the fire hazard are currently applied practically in all active faces longwalls to limit the development of spontaneous coal combustion.

Jednym z głównych sposobów ograniczenia powstania i rozwoju pożarów endogenicznych jest stosowanie gazów obojętnych (azot, ditlenek węgla), przy czym najczęściej wykorzystuje się azot ze względu na mniejsze ryzyko powstania atmosfery bez-tlenowej w wyrobiskach górniczych w przypadku jego wycieku do wyrobisk. Gazy obojętne podawane są do zrobów zawałowych ścian z wykorzystaniem rurociągów zabudowanych w wyrobiskach górniczych. Miejsce podawania gazu do rurociągu zlokalizowane jest na powierzchni. Gaz otrzymuje się na dwa sposoby: wykorzystując metodę zgazowania ciekłego azotu lub ditlenku węgla lub metodę pozyskiwania azotu z powietrza atmosferycznego [8]. Wydajność gazu z wykorzystaniem obu metod to ok. 700 Nm³/godz.

Prace profilaktyczne związane z zagrożeniem pożarowym stosowane są obecnie praktycznie we wszystkich czynnych

Due to the necessity to continuously carry out prevention works related to the fire hazard in mine workings, mines incur considerable costs of their application all the time.

Preventive works and their costs for a sample on the example of a longwall panel

Longwall face 1 was operated in the longwall system with a roof collapse. The length of the face was 243 m, and its operational height was 1.5–2.0 m. The longwall length was 834 m. The ventilation was carried out in the inverted “Y” mode from the boundaries (see Figure 2), and air was supplied to the wall through heading 1 and freshened up through heading 2.

The longwall had an average output of 706 Mg/day. The exploitation period on the longwall was 523 days, and the total output was 369,320 Mg.

The longwall faced all hazards related to ventilation, such as: methane hazard category IV, fire hazard – coal self-ignition group I, critical climate hazard level I and coal dust explosion hazard class B. There were no other natural hazards. The main parameters of the longwall are summarised in Table 2.

As part of fire hazard prevention, mainly inert gases (N_2 and CO_2) were used, which were continuously fed into the goafs in order to create an anaerobic atmosphere. To limit air migration into the caving goafs, chemical foams and antipyrrogenic materials were used along the entire length of the longwall, behind the mechanised lining sections, in order to prolong the fire incubation time. Mineral materials in the form of mineral-cement binders were also used to seal isolation dams and isolation plugs rebuilt with the progress of the longwall on the line of the longwall caving and on the gallery headings.

ścianach eksploatacyjnych w celu ograniczenia rozwoju pożarów endogenicznych.

Ze względu na konieczność ciągłego prowadzenia prac profilaktycznych związanych z zagrożeniem pożarowym w wyrobiskach górniczych, kopalnie ponoszą ciągle znaczne koszty ich stosowania.

Prace profilaktyczne i ich koszty dla przykładowej ściany eksploatacyjnej

Ściana 1 prowadzona była w systemie podłużnym z zawładem stropu. Długość ściany wynosiła 243 m, a jej wysokość eksploatacyjna wynosiła 1,5–2,0 m. Wybieg ściany wynosił 834 m. Przewietrzanie prowadzone było sposobem na odwrócone „Y” od granic (zob. ryc. 2), zaś powietrze doprowadzane było do ściany chodnikiem 1 oraz uzupełniane chodnikiem 2.

Ściana charakteryzowała się średnim wydobywaniem węgla wynoszącym 706 Mg/dobę. Okres eksploatacji ściany zamknął się w 523 dniach, a całkowite uzyskane wydobywanie wyniosło 369 320 Mg.

W ścianie występowały wszystkie zagrożenia związane z wentylacją, takie jak: IV kategoria zagrożenia metanowego, zagrożenie pożarowe – I grupa samozapalności węgla, I poziom krytyczny zagrożenia klimatycznego oraz klasa B zagrożenia wybuchem pyłu węglowego. Nie odnotowano innych zagrożeń naturalnych. Główne parametry ściany zaprezentowano w tabeli 2.

W ramach profilaktyki zagrożenia pożarowego stosowano przede wszystkim gazy obojętne (inertne), zarówno N_2 , jak i CO_2 , które były na bieżąco podawane do zrobów zawałowych w celu stworzenia atmosfery beztlenowej. Dla ograniczenia migracji powietrza do zrobów zawałowych, na całej długości ściany, za sekcjami obudowy zmechanizowanej stosowano piany chemiczne oraz materiały antypirogeniczne w celu wydłużenia czasu inkubacji pożaru. Zastosowanie miały także materiały mineralne w postaci spoiw mineralno-cementowych do uszczelniania tam izolacyjnych i korków izolacyjnych przebudowywanych wraz z postępem ściany na linii zawału ściany i chodników przyścianowych.

Table 2. Characteristics of longwall 1 at the coalmine “B”
Tabela 2. Charakterystyka ściany 1 w kopalni „B”

Length of longwall face / Długość ściany	243 m
Face height / Wysokość eksploatacyjna ściany	1.5–2.0 m
Longitudinal inclination of the longwall / Nachylenie podłużne ściany	2°–6°
Transverse inclination of the longwall face / Nachylenie poprzeczne ściany	-6°–5°
Panel length / Wybieg ściany	834 m

Mean output / Wydobycie średnie	706 Mg/day / 706 Mg/dobę
Exploitation system / System eksploatacji	Longitudinal retreat longwall mining with caving / Podłużny od granic
Ventilation system / Sposób przewietrzania	„Y”
Methane hazard / Zagrożenie metanowe	Methane hazard class IV / IV kategoria zagrożenia metanowego
Absolute methane emission / Metanowość kryterialna	29.54 m ³ CH ₄ /min
Fire hazard / Zagrożenie pożarowe	Spontaneous combustion group I / I grupa samozapalności
Spontaneous fire incubation time / Okres inkubacji pożaru	82 days / 82 dni
Coal dust explosion hazard / Zagrożenie wybuchem pyłu węglowego	Class B / Klasa B
Climatic hazard / Zagrożenie klimatyczne	Critical level I / Poziom krytyczny I
Virgin rock temperature / Temperatura pierwotna górotworu	32°C
Rock burst hazard / Zagrożenie tąpnięciami	No rock burst propensity / Brak zagrożenia tąpnięciami
Water hazard / Zagrożenie wodne	No water hazard / Brak zagrożenia wodnego
Longwall exploitation period / Okres eksploatacji ściany	523 days / 523 dni
Total output from the longwall / Całkowite wydobycie ze ściany	369,320 Mg

Source: Own elaboration based on [9].
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [9].

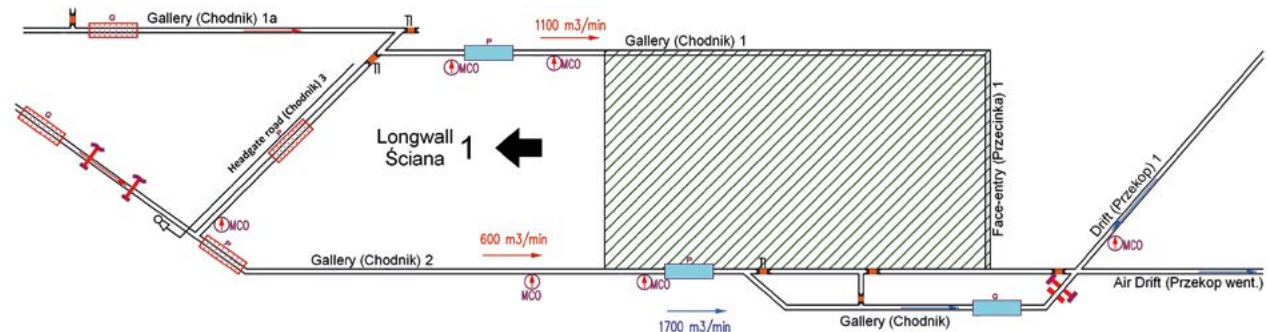


Figure 2. Layout of the longwall face 1
Rycina 2. Schemat przestrzenny ściany 1
Source: Technical design of the longwall 1 of the “B” coal mine.
Źródło: Projekt techniczny ściany 1 kopalni „B”.

The range of fire risk prevention works used in longwall 1, together with their unit costs, is summarised in Table 3.

Zakres prac profilaktycznych związanych z zagrożeniem pożarowym stosowanych w ścianie 1 wraz z ich kosztami jednostkowymi prezentuje tabela 3.

Table 3. List of costs of fire prevention practices for longwall 1
Tabela 3. Zestawienie kosztów profilaktyki przeciwpożarowej dla ściany 1

No. / Lp.	Name of the cost / Nazwa kosztu	No./Amount / Ilość/Liczba	Unit cost [PLN] / Koszt jednostkowy [PLN]	Total cost [PLN] / Koszt całkowity [PLN]
1.	Use of chemical materials: / Wykorzystanie materiałów chemicznych:			
	– light foams / – piany lekkie,	5,000 dm ³	60 PLN/dm ³	300,000.00 PLN
	– hard foams / – piany ciężkie,	2,775 dm ³	70 PLN/dm ³	194,250.00 PLN
	– antipyrogenic agents / – środki antypropiogennicne	1,000 dm ³	60 PLN/dm ³	60,000.00 PLN
2.	Additional works for the application of chemical materials (boreholes, injection) / Prace pomocnicze przy podawaniu materiałów chemicznych (wiercenie otworów, zatłaczanie)		Not applicable / Nie dotyczy	
3.	Use of mineral materials: / Wykorzystanie materiałów mineralnych:			
	– mineral-cement bonds / – spoiwa mineralno-cementowe	220 Mg	740 PLN/Mg	162,500.00 PLN
4.	Additional works on the application of mineral materials (boreholes, injection) / Prace pomocnicze przy podawaniu materiałów mineralnych (wiercenie otworów, zatłaczanie)		Not applicable / Nie dotyczy	
5.	Cuboid concrete blocks / Betonity prostopadłościennie	3,000 pcs. / szt.	3.25 PLN/pcs. / PLN/szt.	9,750.00 PLN
6.	Performance of packwalls (1 running meter) / Wykonawstwo pasów podsadzkowych (1 mb)		Not used / Nie stosowano	
7.	Other construction materials / Inne materiały budowlane		Not used / Nie stosowano	
8.	Laboratory tests of gas samples for early detection of spontaneous fires conducted by the mining facility / Badania laboratoryjne prób gazowych do wczesnego wykrywania pożarów endogenicznych wykonywane przez kopalnię	580 pcs. / szt.	25 PLN/pcs. / PLN/szt.	14,500.00 PLN
9.	Laboratory tests of gas samples for early detection of spontaneous fires conducted in order / Badania laboratoryjne prób gazowych do wczesnego wykrywania pożarów endogenicznych wykonywane na zlecenie	450 pcs. / szt.	170 PLN/pcs. / PLN/szt.	76,500.00 PLN
10.	Additional measurements (thermographic camera, pyrometer) / Pomiary pomocnicze (kamera termowizyjna, pirometr)	Yes / Tak	Camera / Kamera 200 h Pyrometer / Pirometr 150 h	
11.	Use of inert gases – N ₂ or CO ₂ / Zużycie gazów inertnych – N ₂ lub CO ₂	CO ₂	1.78 PLN/ m ³	444,710.75 PLN
		N ₂	0.77 PLN/ m ³	628,388.07 PLN
12.	Inertization works / Obsługa prac inertyzacyjnych	–	–	
13.	Lease or cost of use of inertization devices / Dzierżawa lub koszt użytkowania urządzeń inertyzacyjnych	420 days / dni	2,550 PLN/day / PLN/doba	1,071,000.00 PLN
14.	Man-days related to preventing the fire hazard / Roboczodniówki związane ze zwalczaniem zagrożenia pożarowego	460 man-days / dniówek	358.00 PLN	164,680.00 PLN
15.	Man-days of the mine rescue workers working at the preventive works / Roboczodniówki ratowników górniczych przy pracach profilaktycznych	2,120 man-days / dniówek	489.00 PLN	1,036,680.00 PLN
16.	Use of water and other utilities / Zużycie wody i innych mediów	4,200 m ³ water / wody	–	
17.	Total cost of the preventive works / Całkowity koszt działań profilaktycznych			4,162,958.82 PLN

Source: Own elaboration based on [9–10].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [9–10].

As it results from the statement (see Table 3), the costs of fire hazard prevention for one longwall are not low. The biggest cost is represented by the use of inert gases and man-days connected with the prevention works, especially for the mine rescuers who conduct fire prevention works in hard coal mines.

In the further part of the article, an analysis of the costs of prophylactic works for fire hazard for selected longwalls of two coalmining companies will be presented on the basis of the developed cost indices.

Prevention costs and cost indicators for longwalls

The following cost indicators [11–14] have been developed to assess the cost of fire prevention:

- percentage share of the cost of prevention in relation to the obtained revenue U_p , %,
- cost of prevention per 1 Mg of mined coal K_{PMg} , PLN/Mg,
- cost of prevention calculated per 1 m of wall progress K_{Pmb} , PLN/m,
- cost of prevention calculated per 1 day of wall progression K_{Pgd} , PLN/day.

The percentage share of the prevention measure costs U_p was calculated using the formula:

$$U_p = \frac{K_p}{P_c} \cdot 100\% \quad [\%] \quad (1)$$

where:

K_p – prevention cost, PLN,

P_c – total revenue from coal sold, PLN.

The cost of prevention per 1 Mg of mined coal K_{PMg} was calculated based on the formula:

$$K_{PMg} = \frac{K_p}{W_c} \quad [\text{PLN/Mg}] \quad (2)$$

where:

K_p – prevention cost, PLN,

W_c – total output from the longwall face, Mg.

The cost of prevention calculated per 1 m of longwall face progress K_{Pmb} was calculated according to the formula:

$$K_{Pmb} = \frac{K_p}{W_{sc}} \quad [\text{PLN/m}] \quad (3)$$

where:

K_p – prevention cost, PLN,

W_{sc} – total run of the longwall face, m.

Jak wynika z zestawienia (zob. tab. 3) koszty profilaktyki zagrożenia pożarowego dla jednej tylko ściany eksploatacyjnej nie są niskie. Największy koszt stanowi stosowanie gazów obojętnych oraz roboczodniówki związane z pracami profilaktycznymi, w szczególności ratowników górniczych, którzy prowadzą w kopalniach węgla kamiennego prace w ramach profilaktyki przeciwpożarowej.

W dalszej części artykułu zostanie przedstawiona analiza kosztów prac profilaktycznych zagrożenia pożarowego dla wybranych ścian eksploatacyjnych dwóch spółek węglowych, na podstawie opracowanych wskaźników kosztów.

Koszty profilaktyki i wskaźniki kosztów dla ścian eksploatacyjnych

W celu oceny kosztów profilaktyki zagrożenia pożarowego zostały opracowane następujące wskaźniki kosztów [11–14]:

- udział procentowy kosztów profilaktyki w stosunku do uzyskanego przychodu U_p , %,
- koszt profilaktyki w przeliczeniu na 1 Mg wydobytego węgla K_{PMg} , zł/Mg,
- koszt profilaktyki w przeliczeniu na 1 mb postępu ściany K_{Pmb} , zł/m,
- koszt profilaktyki w przeliczeniu na 1 dobę biegu ściany K_{Pgd} , zł/dobę.

Udział procentowy kosztów profilaktyki U_p obliczony został na podstawie wzoru:

$$U_p = \frac{K_p}{P_c} \cdot 100\% \quad [\%] \quad (1)$$

gdzie:

K_p – koszt profilaktyki, zł,

P_c – przychód całkowity ze sprzedanego węgla, zł.

Koszt profilaktyki w przeliczeniu na 1 Mg wydobytego węgla K_{PMg} obliczony został na podstawie wzoru:

$$K_{PMg} = \frac{K_p}{W_c} \quad [\text{zł/Mg}] \quad (2)$$

gdzie:

K_p – koszt profilaktyki, zł,

W_c – całkowite wydobyte ze ściany, Mg.

Koszt profilaktyki w przeliczeniu na 1 mb postępu ściany K_{Pmb} obliczony został na podstawie wzoru:

$$K_{Pmb} = \frac{K_p}{W_{sc}} \quad [\text{zł/m}] \quad (3)$$

gdzie:

K_p – koszt profilaktyki, zł,

W_{sc} – wybieg całkowity ściany, m.

The cost of prevention calculated per 1 day of the longwall face run K_{Pd} was calculated using the formula:

$$K_{Pd} = \frac{K_p}{l_d} \text{ [PLN/day]} \quad (4)$$

where:

K_p – prevention cost, PLN,

l_d – number of working days of the longwall run, day.

Calculated cost indices for exemplary longwalls of two coal mining companies are presented in Table 3.

The analysis of the costs of preventive works was carried out for the data in the year 2020. To compare the costs of the preventive works under the fire hazard, the average annual price of one tonne of thermal coal was determined according to the price of coal in ARA ports (Amsterdam-Rotterdam-Antwerp). In 2020, this price amounted to 56.05 USD [15], which, when converted to PLN according to the average annual USD exchange rate in the National Bank of Poland [16], gives 218.47 PLN. It is worth noting that the average annual retail price of 1,000 kg of coal in Poland in 2020 was PLN 887.95 [17].

The analysis of the costs of the preventive works was conducted for 16 longwalls operated in the mines of two coal mining companies.

The costs of the preventive works, with cost indices are summarised in Table 4.

Koszt profilaktyki w przeliczeniu na 1 dobę biegu ściany K_{Pd} obliczony został na podstawie wzoru:

$$K_{Pd} = \frac{K_p}{l_d} \text{ [zł/dobę]} \quad (4)$$

gdzie:

K_p – koszt profilaktyki, zł,

l_d – liczba dni roboczych biegu ściany, doba.

Obliczone wskaźniki kosztów dla przykładowych ścian eksploatacyjnych dwóch spółek węglowych zestawiono w tabeli 3.

Analiza kosztów prac profilaktycznych została wykonana dla danych z 2020 roku. W celu porównania kosztów prac profilaktycznych w przypadku zagrożenia pożarowego wyznaczono średnioroczną cenę tony węgla energetycznego wg kursu ceny węgla w portach ARA (Amsterdam-Rotterdam-Antwerpia). W 2020 r. cena ta wyniosła 56,05 dolara amerykańskiego [15], co w przeliczeniu na złotówki wg średniorocznego kursu dolara amerykańskiego w NBP [16] daje 218,47 zł. Warto zaznaczyć, że przeciętna średnioroczna cena detaliczna 1000 kg węgla w Polsce w 2020 roku wyniosła 887,95 zł [17].

Analiza kosztów prac profilaktycznych została przeprowadzona dla 16 ścian eksploatacyjnych prowadzonych w kopalniach dwóch spółek węglowych.

Koszty prac profilaktycznych wraz z wskaźnikami kosztów zostały zestawione w tabeli 4.

Table 4. Costs and ratios of fire prevention costs for selected longwalls of two coal mining companies

Tabela 4. Koszty i wskaźniki kosztów profilaktyki przeciwpożarowej dla wybranych ścian eksploatacyjnych dwóch spółek węglowych

Longwall faces / Ściany	Total coal output / Wydobycie całkowite W_c Mg	Total revenue / Przychód całkowity P_c PLN	Cost of the fire prevention / Koszt profilaktyki ppoż. K_{pp} PLN	Cost percentage constituted by fire prevention / Udział kosztu profilaktyki ppoż. U_{pp} %	Cost of the fire prevention per 1 Mg of the output / Koszt profilaktyki ppoż. na 1 Mg wydobywania K_{pMgPo} PLN/Mg	Cost of the fire prevention per 1 meter of advancement / Koszt profilaktyki ppoż. na 1 m postępu ściany K_{pmbPo} PLN/m	Cost of fire prevention per 1 day of advancement / Koszt profilaktyki ppoż. na 1 dobę biegu ściany K_{PdPo} PLN/dobę / PLN/day
Longwall face / Ściana 1A	1,303,819	284,845,336.93	1,840,149.90	0.65	1.41	1,368.14	1,860.62
Longwall face / Ściana 2A	558,018	121,910,192.46	7,475,712.70	6.13	13.40	9,772.17	27,585.65
Longwall face / Ściana 3A	389,392	85,070,470.24	2,399,711.70	2.82	6.16	2,112.42	21,236.38
Longwall face / Ściana 4A	561,807	122,737,975.29	3,694,356.77	3.01	6.58	5,166.93	19,141.74
Longwall face / Ściana 5A	1,237,743	270,409,713.21	11,749,548.56	4.35	9.49	8,969.12	24,788.08
Longwall face / Ściana 6A	346,417	75,681,721.99	1,573,923.75	2.08	4.54	3,703.35	3,944.67
Longwall face / Ściana 7A	487,795	106,568,573.65	4,858,262.01	4.56	9.96	10,017.03	5,722.33
Longwall face / Ściana 8A	106,802	23,333,032.94	750,765.04	3.22	7.03	3,575.07	5,865.35

Longwall faces / Ściany	Total coal output / Wydobycie całkowite W_c Mg	Total revenue / Przychód całkowity P_c PLN	Cost of the fire prevention / Koszt profilaktyki ppoż. K_{pp} PLN	Cost percen- tage consti- tuted by fire prevention / Udział kosztu profilaktyki ppoż. U_{pp} %	Cost of the fire prevention per 1 Mg of the output / Koszt profilaktyki ppoż. na 1 Mg wydobycia K_{pMgPo} PLN/Mg	Cost of the fire prevention per 1 meter of advancement / Koszt profilak- tyki ppoż. na 1 m postępu ściany K_{pmbPo} PLN/m	Cost of fire prevention per 1 day of advan- cement / Koszt profilak- tyki ppoż. na 1 dobę biegu ściany K_{pdPo} PLN/dobę / PLN/day
Longwall face / Ściana 1B	369,320	80,685,340.40	4,162,958.82	5.16	11.27	4,991.56	7,959.77
Longwall face / Ściana 2B	534,585	116,790,784.95	3,909,027.83	3.35	7.31	5,706.61	11,954.21
Longwall face / Ściana 3B	522,280	114,102,511.60	3,153,754.20	2.76	6.04	3,391.13	11,065.80
Coal mining compa- ny B / Spółka węglowa B Longwall face / Ściana 4B	175,964	38,442,855.08	806,395.04	2.1	4.58	2,643.92	5,305.23
Longwall face / Ściana 5B	713,995	155,986,487.65	4,709,123.50	3.02	6.60	6,765.98	16,072.09
Longwall face / Ściana 6B	441,811	96,522,449.17	1,861,078.20	1.93	4.21	1,988.33	10,947.52
Longwall face / Ściana 7B	252,711	55,209,772.17	497,764.32	0.9	1.97	949.93	11,73.97
Longwall face / Ściana 8B	604,617	132,090,675.99	2,722,371.18	2.06	4.50	3,974.26	16,399.83

Source: Own elaboration based on [9–10].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [9–10].

The analysis of the costs of the prevention works under the fire hazard covered 16 exemplary longwall faces operated in the mines of two mining companies. Previous research contradicts the thesis that the costs of preventive works should increase in case of a higher fire hazard group. This is because of the fact that in the mines where the safety culture is higher, the costs of prevention are also higher, but there are less frequent situations where the danger increases and there is a need to introduce additional active prevention. Nor do prevention costs depend on the total income from the longwall. This is clearly visible in Figure 3 in the case of the first two longwall faces, where for longwall face 1A the total income is the highest among all analysed longwalls, while the cost of fire prevention is low.

In longwall face 2A the cost of prevention in relation to the total income is already noticeable.

Analizę kosztów prac profilaktycznych w ramach zagrożenia pożarowego objęto w sumie 16 przykładowych ścian eksploatacyjnych w kopalniach dwóch spółek węglowych. Wcześniej prowadzone badania zaprzeczają tezie, że w przypadku wyższej grupy zagrożenia pożarowego powinny wzrosnąć koszty prowadzonych prac profilaktycznych. Wynika to z faktu, że w kopalniach, gdzie kultura bezpieczeństwa jest wyższa, takie koszty także są wyższe, za to rzadziej występują sytuacje wzrostu zagrożenia i konieczności wprowadzenia dodatkowych środków aktywnych działań profilaktycznych. Koszty profilaktyki nie zależą także od przychodu całkowitego uzyskanego ze ściany eksploatacyjnej. Widać to wyraźnie na przykładzie pierwszych dwóch ścian przedstawionych na rycinie 3, gdzie dla ściany 1A przychód całkowity jest największy spośród wszystkich analizowanych ścian, zaś koszty profilaktyki przeciwpożarowej są niewielkie.

W ścianie 2A koszt profilaktyki w stosunku do całkowitego przychodu jest już zauważalny.

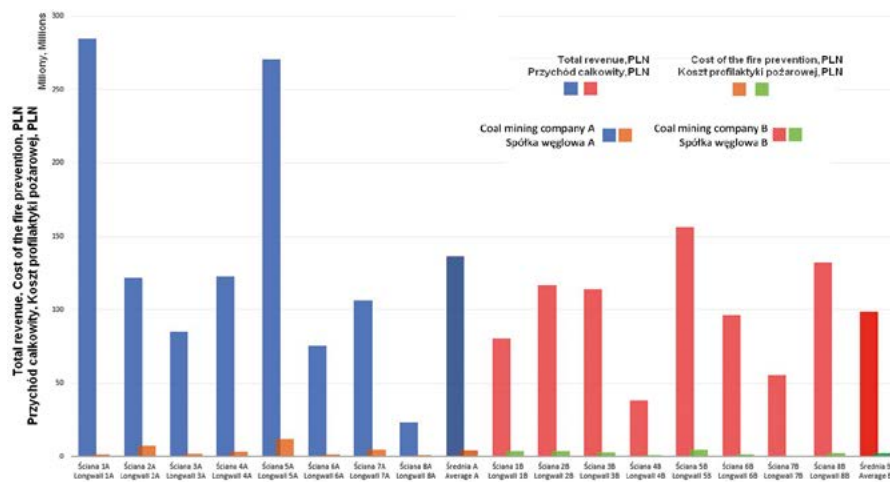


Figure 3. Costs of fire prevention in relation to total revenue of the analysed longwall faces

Rycina 3. Koszty profilaktyki przeciwpożarowej w stosunku do przychodu całkowitego w analizowanych ścianach eksploatacyjnych

Source: Own elaboration based on Table 4.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie tabeli 4.

The share of the fire prevention costs according to formula (1) is the quotient of the prevention cost KP to the total revenue from coal sold PC. As indicated in the example of the longwall face No 1 of the "B" mine, the highest cost of prevention results from the works related to inertization of caving goafs of the longwall and the costs of working days of the mine rescuers, who take part in the prevention works. According to Figure 4, the share of fire prevention costs varies greatly and ranges from 0.65% to 6.13% for company A and from 0.9% to 5.16% for company B. The average value of the share of fire prevention costs in company A was 3.35%. In case of company B, the value is slightly lower, as it amounted to 2.66%.

Udział kosztów profilaktyki przeciwpożarowej zgodnie ze wzorem (1) to iloraz kosztu profilaktyki KP do przychodu całkowitego ze sprzedanego węgla PC. Jak wskazano w przykładzie dla ściany 1 kopalni „B” najwyższy koszt profilaktyki wynika z prowadzenia prac związanych z inertyzacją zrobów zawałowych ścian eksploatacyjnych oraz kosztów roboczo-dniów ratowników górniczych, którzy biorą udział w pracach profilaktycznych. Zgodnie z ryciną 4 udział kosztów profilaktyki przeciwpożarowych jest bardzo zróżnicowany i zawiera się w przedziale od 0,65% do 6,13% w przypadku spółki A oraz od 0,9% do 5,16% dla spółki B. Średnia wartość udziału kosztów profilaktyk pożarowych w spółce A wyniosła 3,35%. W przypadku spółki B wartość ta jest nieco niższa, wyniosła bowiem 2,66%.

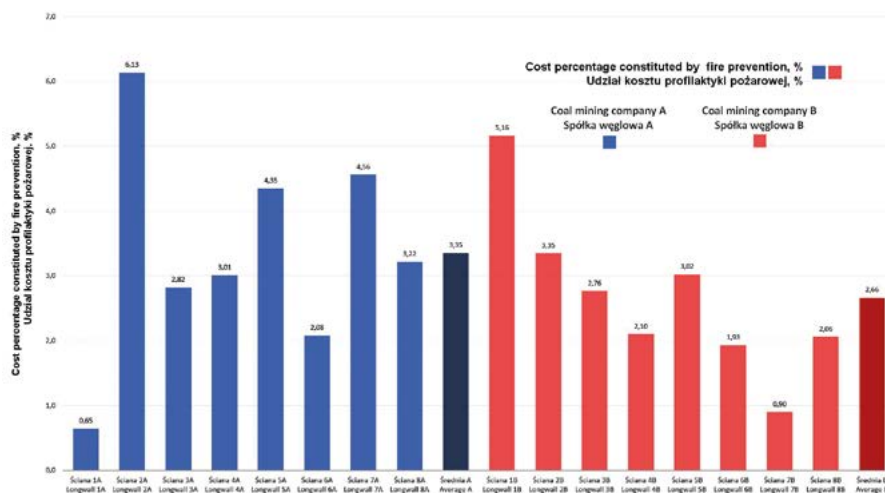


Figure 4. Cost percentage constituted by fire prevention in the analysed longwall faces

Rycina 4. Udziały kosztów profilaktyki przeciwpożarowej w analizowanych ścianach eksploatacyjnych

Source: Own elaboration based on Table 4.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie tabeli 4.

The main index characterises the prevention costs is the fire prevention cost per 1 tonne of coal. The values of this index are presented in Figure 5. The values of the index are also highly diversified. The lowest cost among the analysed longwalls occurred in longwall face 1A and amounted to 1.41 PLN/Mg of coal, while the highest cost occurred in longwall face 2A and amounted to 13.4 PLN/Mg. According to the calculations, this is as much as a 5.48% difference in the cost of prophylaxis in relation to the price of 1 tonne of coal. In case of the analysed longwalls of mining company B, the difference in costs is not so great, as it is in the range of 1.97–11.27 PLN/Mg. The average values of the index are respectively 7.32 PLN/Mg for company A and 5.81 PLN/Mg for company B, which represents 3.35% of the average coal price for company A and 2.65% of the average coal price for company B.

Głównym wskaźnikiem charakteryzującym koszty profilaktyki jest koszt profilaktyki przeciwpożarowej w przeliczeniu na cenę 1 tony węgla. Wartości omawianego wskaźnika przedstawiono na rycinie 5. Są one także mocno zróżnicowane. Najniższy koszt spośród analizowanych ścian wystąpił w ścianie 1A i wyniósł 1,41 zł/Mg węgla, zaś najwyższy wystąpił w ścianie 2A i wyniósł 13,4 zł/Mg. Jak wynika z obliczeń jest to aż 5,48% różnicy kosztu profilaktyki w stosunku do ceny 1 tony węgla. W przypadku analizowanych ścian eksploatacyjnych spółki B różnica w koszcie nie jest aż tak duża, zawiera się bowiem w przedziale 1,97–11,27 zł/Mg. Średnie wartości wskaźnika wynoszą odpowiednio 7,32 zł/Mg dla spółki A i 5,81 zł/Mg dla spółki B, co stanowi 3,35% średniej ceny węgla dla spółki A i 2,65% średniej ceny węgla dla spółki B.

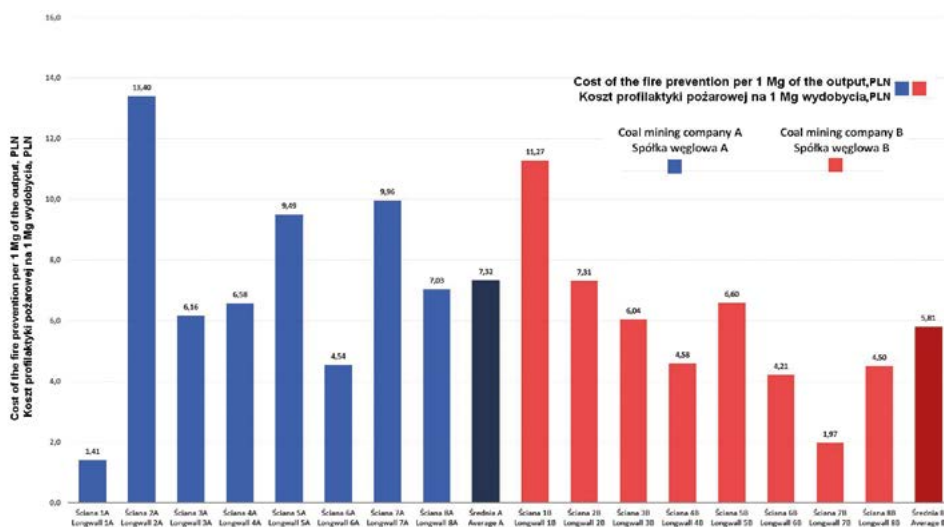


Figure 5. Cost of the fire prevention per 1 Mg of the output in the analysed longwall faces

Rycina 5. Koszty profilaktyki przeciwpożarowej w przeliczeniu na 1 Mg wydobywania w analizowanych ścianach eksploatacyjnych

Source: Own elaboration based on Table 4.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie tabeli 4.

Quite interesting results were obtained for the last two indices; fire prevention cost per 1m of the longwall progress (see Figure 6) and fire prevention cost per 1 day of the longwall run (see Figure 7).

The analysed indices show more tangibly how high the costs are incurred by the mines in relation to the fire prevention. In case of company A, among the analysed longwalls there are 3 for which the cost of fire prevention in terms of 1mb of the longwall progress is very high and amounts respectively to 9,772.17 PLN/m for longwall 2A, 8,969.12 PLN/m for wall 5A and 10,017.04 PLN/m for wall 7A. These are huge preventive costs considering that the average run of the longwall faces is around 1,000 m. There are also longwall faces with a relatively low value of the index, which was, for example 1,368.14 PLN/m for longwall face 1A and 949.93 PLN/m for longwall face 7B. The average value of the index for both companies was 5,585.53 PLN/m and 3,801.47 PLN/m respectively.

The last analysed index is the prophylaxis cost per 1 day of the longwall face's operation (see Figure 7), which shows how

Dość ciekawe wyniki uzyskano dla dwóch ostatnich wskaźników – kosztu profilaktyki przeciwpożarowej w przeliczeniu na 1m postępu ściany (zob. ryc. 6) oraz kosztu profilaktyki przeciwpożarowej w przeliczeniu na 1 dobę biegu ściany (zob. ryc. 7).

Analizowane wskaźniki pokazują bardziej dokładnie jak wysokie koszty ponoszą kopalnie w związku z stosowaną profilaktyką przeciwpożarową. W przypadku spółki A występują 3 ściany eksploatacyjne spośród analizowanych, dla których koszt profilaktyki przeciwpożarowej w przeliczeniu na 1 m postępu ściany jest bardzo wysoki i wynosi odpowiednio: 9772,17 zł/m dla ściany 2A, 8969,12 zł/m dla ściany 5A i 10 017,04 zł/m dla ściany 7A. Są to olbrzymie koszty zważywszy, że średni wybieg ścian wynosi ok. 1000 m. Są także ściany o stosunkowo niskiej wartości wskaźnika, który wyniósł przykładowo 1368,14 zł/m dla ściany 1A oraz 949,93 zł/m dla ściany 7B. Średnia wartość wskaźnika dla obu spółek wyniosła odpowiednio 5585,53 zł/m i 3801,47 zł/m.

Ostatnim analizowanym wskaźnikiem jest koszt profilaktyki w przeliczeniu na 1 dobę biegu ściany (zob. ryc. 7), który

much the applied fire prophylaxis costs per day. This cost results directly from the time the longwall was in operation. The shorter the time, the higher the cost of prevention. The most expensive was the fire prevention of longwall face 2A, where the cost of daily prevention amounted to PLN 27,585.66 PLN/day. This was due to a very short exploitation period of the wall, amounting to only 271 days. In case of longwall face 7B, where the cost of daily prevention was only PLN 1,173.97 PLN/day, the exploitation period was very long and amounted to 424 days. The average values for both companies were 13,768.10 PLN/day for company A and 10,109.80 PLN/day for company B respectively.

przedstawia, ile kosztuje stosowana profilaktyka pożarowa w ciągu 1 doby. Koszt ten wynika bezpośrednio z czasu, w jakim ściana była eksploatowana. Im czas ten jest krótszy, tym koszt profilaktyki wyższy. Największe koszty związane były z profilaktyką przeciwpożarową dla ściany 2A, gdzie koszt prac w tym zakresie wyniósł 27 585,66 zł/dobę. Związane to było z bardzo krótkim okresem eksploatacji ściany, wynoszącym jedynie 271 dni. W przypadku zaś ściany 7B, dla której koszt profilaktyki dziennej wyniósł jedynie 1173,97 zł/dobę czas jej eksploatacji był bardzo długi, wyniósł bowiem aż 424 dni. Średnie wartości wskaźnika dla obu spółek wyniosły odpowiednio 13 768,10 zł/dobę dla spółki A i 10 109,80 zł/dobę w przypadku spółki B.

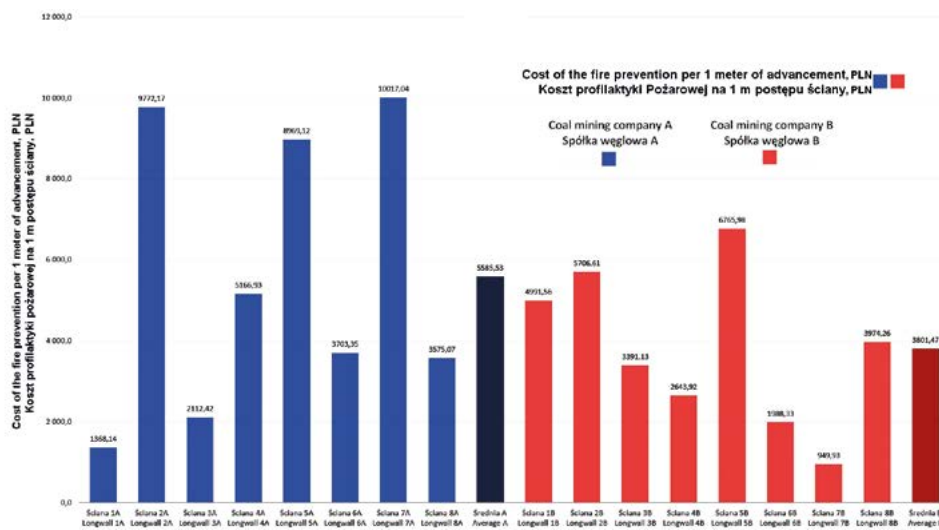


Figure 6. Fire prevention costs per 1 meter of advancement in the analysed longwall faces

Rycina 6. Koszty profilaktyki przeciwpożarowej w przeliczeniu na 1 m postępu ściany w analizowanych ścianach eksploatacyjnych

Source: Own elaboration based on Table 4.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie tabeli 4.

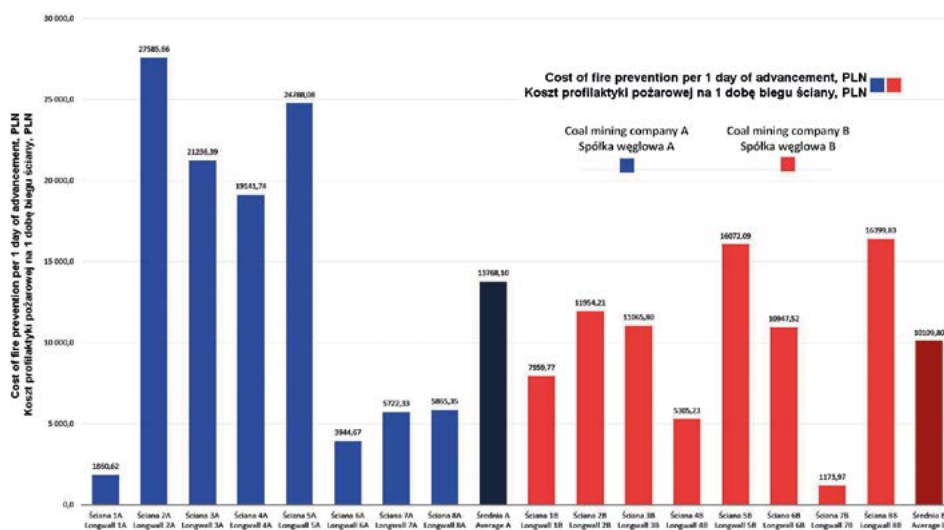


Figure 7. Fire prevention costs per 1 day of advancement in the analysed longwall faces

Rycina 7. Koszty profilaktyki przeciwpożarowej w przeliczeniu na 1 dobę biegu ściany w analizowanych ścianach eksploatacyjnych

Source: Own elaboration based on Table 4.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie tabeli 4.

Conclusions

Of the ventilation-related preventive measures currently used, fire hazard prevention and coal dust explosion prevention are practically always applied. Costs borne by the mines for its application may not be the highest among hazard prevention measures in hard coal mining, but they constitute an indispensable element of the total cost in the coal mining process. Unfortunately, the costs of prophylactics are gradually increasing as mining operations are carried out in the deeper parts of the mines.

Of the natural and technical hazard prevention, fire hazard prevention must be adapted to the prevailing geological-mining conditions. It cannot be precisely predicted and adjusted when developing a technical design of the longwall panel, which includes methods for hazard prevention. The projects in this field discuss only the main aspects of applying prevention in accordance with the mining regulations. The details of how to carry out fire prevention evolve with the progress of mining work and emerging problems related to the increase in fire hazard.

For many years attempts have been made to develop an appropriate algorithm for dealing with fire hazards. Unfortunately, to this day, it has not been fully developed and mines rely on methods developed within the framework of their own practice as well as practice in other mines during the prevention. Fire hazard is not the only hazard for which no methodology has been developed to reduce it. Methane and climate hazards are also such hazards. However, in case of both hazards, mining regulations directly indicate what preventive measures should be taken to limit the increase in the hazard. In case of the methane hazard, the regulations unequivocally indicate the necessity of applying demethylation, while in case of the climatic hazard, air-conditioning of the mine workings must be applied and/or a reduced working time for the crew must be introduced, and if the permissible temperature at the workplace is exceeded, the crew must be withdrawn until the permissible climate parameters are restored.

However, it must be said that fire prevention offers the most choice among the available methods of combating the hazard.

When comparing the costs of fire prevention to other natural and technical hazard prevention, it can be said that the costs of fire prevention are the lowest. However, there are situations where it is necessary to seal the longwall area together with precious valuable assets such as powered roof supports, shearers and other longwall equipment. However, it is not always possible to recover the lost equipment, and its cost often exceeds PLN 100 million. Therefore, a fire hazard prevention is the primary determinant of safety in the longwall area during coal seam mining.

The necessity of applying goaf inertisation takes the highest share of the cost of fire prevention. On the other hand, the highest share of the fire prevention cost is taken by the necessity to use caving inertia and working day's pay spent on fire hazard control, especially working day's spent by the rescuers on fire prevention.

It should also be noted that the overriding condition for conducting mining works is the safety of the crew, and therefore the size of the costs of the preventive works is of little importance.

Podsumowanie

Spośród stosowanych obecnie prac profilaktycznych związanych z wentylacją, profilaktyka zagrożenia pożarowego obok profilaktyki zagrożenia wybuchem pyłu węglowego jest stosowana praktycznie zawsze. Koszty ponoszone w tym zakresie przez kopalnie nie są może najwyższe spośród działań profilaktycznych w przypadku zagrożeń występujących w górnictwie węgla kamiennego, jednak stanowią nieodzowny element całkowitego kosztu w procesie eksploatacji węgla. W związku z prowadzeniem eksploatacji w coraz głębszych partiach kopalń koszty takich działań niestety sukcesywnie wzrastają.

Spośród działań profilaktycznych związanych z zagrożeniami naturalnymi i technicznymi profilaktykę zagrożenia pożarowego należy dostosowywać do panujących warunków geologiczno-górnictwowych i nie da się jej dokładnie przewidzieć i dostosować na etapie tworzenia projektu technicznego ściany, w ramach którego zawarte są metody prowadzenia profilaktyki zagrożeń. Projekty w tym zakresie omawiają jedynie główne aspekty jej stosowania zgodnie z przepisami górniczymi. Szczegóły prowadzonej profilaktyki przeciwpożarowej ewoluują wraz z postępem robót górniczych i pojawiającymi się problemami związanymi ze wzrostem zagrożenia pożarowego.

Przez wiele lat podejmowano próby wypracowania odpowiedniego algorytmu postępowania na wypadek wystąpienia zagrożenia pożarowego. Niestety do dnia dzisiejszego cel ten nie został w pełni osiągnięty, a kopalnie w czasie prowadzonej profilaktyki bazują na metodach wypracowanych zarówno w ramach własnej praktyki, jak i praktyk postępowania w innych zakładach górniczych. Zagrożenie pożarowe nie jest jedynym zagrożeniem, dla którego nie została wypracowana metodyka postępowania w celu jego ograniczenia. Są nimi także zagrożenie metanowe i klimatyczne. Jednak w ramach obu zagrożeń przepisy górnicze wskazują bezpośrednio, jakie elementy profilaktyki należy przedsięwziąć, aby ograniczyć wzrost zagrożenia. W przypadku zagrożenia metanowego przepisy jednoznacznie wskazują na konieczność prowadzenia lub stosowania odmetanowania, w razie wystąpienia zagrożenia klimatycznego należy stosować klimatyzację wyrobisk górniczych oraz/lub wprowadzić skrócony czas pracy załogi, a w przypadku przekroczenia dopuszczalnej temperatury na stanowisku pracy wycofać załogę do czasu przywrócenia dopuszczalnych parametrów klimatu.

Należy jednak zauważyć, że to właśnie profilaktyka zagrożenia pożarowego daje najwięcej możliwości wyboru spośród dostępnych metod walki z zagrożeniem.

Porównując koszty profilaktyki przeciwpożarowej do innych profilaktyk zagrożeń naturalnych i technicznych można powiedzieć, że są one najniższe. Zdarzają się jednak sytuacje, w których dochodzi do konieczności otamowania rejonu ściany wraz z wysokocennym majątkiem w postaci obudowy zmechanizowanej, kombajnu ścianowego i reszty wyposażenia ściany. Nie zawsze zachodzi jednak możliwość odzyskania utraconego sprzętu, a jego koszt to niejednokrotnie wartość przekraczająca 100 mln zł. Dlatego to właśnie profilaktyka zagrożenia pożarowego jest głównym wyznacznikiem bezpieczeństwa w rejonie ściany w czasie eksploatacji pokładów węgla.

Najwyższy udział kosztu profilaktyki przeciwpożarowej stanowi inertyzacja zrobów zawałowych oraz wynagrodzenia za roboczość związana ze zwalczaniem zagrożenia pożarowego, w szczególności roboczość ratowników przepracowane w ramach prac profilaktycznych. Należy też zaznaczyć, że nadrzędnym warunkiem prowadzenia robót górniczych jest bezpieczeństwo załogi, dlatego wielkość kosztów prowadzonych prac profilaktycznych nie ma większego znaczenia.

Literature / Literatura

- [1] Stan bezpieczeństwa i higieny pracy w górnictwie, <https://www.wug.gov.pl/bhp/zdarzenia> [dostęp: 13.03.2022 r.].
- [2] Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. (z późn. zm.) w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych (Dz. U. 2017, poz. 1118.).
- [3] Maciejasz Z., Kruk F., *Pożary podziemne w kopalniach, Część 1*, Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1977.
- [4] Cygankiewicz J., *Prognozowanie procesu samozapalenia węgla w podziemiach kopalń*, Wydawnictwo GIG, Katowice 2018.
- [5] PN-93/G-04558 Węgiel kamienny – Oznaczanie wskaźnika samozapalności.
- [6] Obracaj D., Korzec M., Vu T., *The influence of the sample preparation on the result of coal propensity to spontaneous combustion in the high-temperature adiabatic method*, „Journal of the Polish Mineral Engineering Society” 2021, 2 (1), 65–78.
- [7] Strumiński A., *Zwalczanie pożarów w kopalniach głębinowych*, Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1996.
- [8] <https://cen-rat.bytom.pl/inertyzacja/> [dostęp 13.03.2022].
- [9] Projekty techniczne ścian eksploatacyjnych dwóch spółek węgla kamiennego (mat. niepublikowane).
- [10] Projekty prac profilaktycznych dla ścian eksploatacyjnych dwóch spółek węgla kamiennego, (mat. niepublikowane).
- [11] Musioł D., *Działania w zakresie profilaktyk aerologicznych jako niezbędny element nakładów na wydobycie w ścianach eksploatacyjnych*, „Systemy wspomagania w inżynierii produkcji, Górnictwo – perspektywy i zagrożenia” 2016, 1 (13), 122–137.
- [12] Musioł D., *Koszty prac profilaktycznych w aspekcie zagrożenia metanowego dla wybranych rejonów ścian eksploatacyjnych*, „Wiadomości Górnicze” 2017, 6, 2017, 317–326.
- [13] Musioł D., *Koszty profilaktyk aerologicznych w porównaniu do ceny węgla w warunkach jednej z kopalń węgla kamiennego, Systemy wspomagania w inżynierii produkcji*, „Górnictwo Zrównoważonego Rozwoju” 2017, 6(2), 214–23.
- [14] Musioł D., *Ocena kosztów prac profilaktycznych w ramach zagrożenia klimatycznego na przykładzie wybranych ścian eksploatacyjnych*, [w:] *Wybrane zagrożenia aerologiczne w polskich kopalniach*, W. Dziurzyński (red.), Wydawnictwo Archives of Mining Sciences, Kraków 2019, 193–206.
- [15] https://www.wnp.pl/gornictwo/notowania/ceny_wegla [dostęp 14.03.2022].
- [16] Statystyki średniego kursu Dolara Amerykańskiego w NBP za 2020 r.
- [17] <https://stat.gov.pl/sygnalne/komunikaty-i-obwieszczenia/lista-komunikatow-i-obwieszczen/komunikat-w-sprawie-przecietnej-sredniorocznej-ceny-detalicznej-1000-kg-wegla-kamiennego-w-2020-roku,53,8.html> [dostęp 14.03.2022].

DARIUSZ MUSIOŁ, PH.D. ENG. – graduate of the Faculty of Mining and Geology, Silesian University of Technology. Long-term scientific and didactic employee. Long-term manager of postgraduate studies "Aerology and Mine Rescue" at the Faculty of Mining, Safety Engineering and Industrial Automation of the Silesian University of Technology. Expert of the State Mining Authority in Katowice in the field of methane and dust hazards, fire hazard and climatic hazard. Expert at the Management Board Office of Jastrzębska Spółka Węglowa S.A. Deputy chairman of the Mining Aerology Section of the Katowice Branch of the Polish Academy of Sciences and member of the Mining Commission of the Katowice Branch of the Polish Academy of Sciences. The author's main area of specialisation is methane, fire and climate hazards, ventilation networks in mines and their ventilation.

DR INŻ. DARIUSZ MUSIOŁ – absolwent Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej. Długoletni pracownik naukowo-dydaktyczny. Wieloletni kierownik studiów podyplomowych „Aerologia i Ratownictwo Górnicze” na Wydziale Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej Politechniki Śląskiej. Rzeczoznawca Wyższego Urzędu Górniczego w Katowicach w grupach zagrożenia metanowego i pyłowego, zagrożenia pożarowego i zagrożenia klimatycznego. Rzeczoznawca w Biurze Zarządu Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A. Zastępca przewodniczącego Sekcji Aerologii Górniczej PAN oddziału w Katowicach oraz członek Komisji Górniczej PAN oddziału w Katowicach. Głównym obszarem specjalizacji autora są zagrożenia metanowe, pożarowe i klimatyczne, sieci wentylacyjne kopalń oraz ich wentylacja.